

デジタルシボによる機能性シボを有する鋳鉄フライパンの作製*

和合 健**、生内 智**、及川 春樹***

表面に凹凸模様を与えるシボ加工は、意匠性を付与する手法として利用されてきた。デジタルシボ技術は定量的にシボピットの大きさが数値制御できることから、意匠に加え機能性を付与したシボの設計が可能であると考え、南部鉄器製のフライパンを対象に、実用的な調理で要求される離型性、軽量性、加熱性の3項目の機能性をデジタルシボで付与する方策に取り組んだ。評価項目を剥離性、味、油滞留性、意匠性、加熱性の5項目として、テストピースによる調理試験を実施し、官能評価で採点した結果、幾何学シボ半球凹が多くの食材に適することを見出した。

キーワード：デジタルシボ、機能性、南部鉄器、フライパン、官能試験

Production of Cast Iron Frying Pan to Equip Functional Surface Texture Made by Digit-Shibo

WAGO Takeshi, OBONAI Tomo, OIKAWA Haruki

Key words: digit-shibo, functionality, nanbu ironware, frying pan, sensory testing

1 はじめに

我々は岩手県特産の南部鉄器にデジタルシボを適用し、これまで独自の意匠による鉄瓶や急須の作製に取り組んできた¹⁾²⁾。次の取り組みとして、厨房品であるフライパンへのデジタルシボ適用について検討を行った。鋳造鉄器製フライパン（以下、鋳鉄フライパン）は量販店や百元ショップでも多く販売されている見慣れた製品ではあるが、主に大量生産方式で製造されているため、意匠性を考慮した製品は極めて少ない。この鋳鉄フライパンにデジタルシボを適用し、意匠性の他に、機能性も付与し高付加価値化に繋げることができれば、デジタルシボの新たな活用手法として期待ができる。

本研究では、デジタルシボを活用したフライパンの意匠性と機能性の向上を図ることを目的として、離型性、軽量性、加熱性の3点に注目したシボ模様を選定し、選定したシボ模様が発揮する機能性について官能試験を行った。

2 実験方法

2-1 機能性付与の方針

鋳鉄フライパンは、表面に黒色の焼き付け塗装が施されており、焼き面に食材の焦げ等が付着した際にスチールブラシ等を使用すると、塗装の剥離に繋がる。そのため、表面に焦げ付き防止効果のある表面処理を行うことが望ましい。板金製フライパンにおいては、フッ素コー

ティングが施されているが、鋳鉄フライパンに同様の処理をする場合、焼き面の温度域や粗い表面性状の影響から適応が難しい。鋳鉄フライパンに適した焦げ付き防止の方策を調べた結果、食用油を利用して焼き面と食材の間に緩衝膜を形成する方法が適することが分かった。そのためデジタルシボにより、フライパン表面に食用油が滞留するシボ模様を与えることで、離型性を付与する手法について検討した。具体的には、食用油が適度に滞留し、かつ焦げが付着し難いシボ模様の凹凸形状について検討した。

デジタルシボによる軽量化は、フライパンの剛性を保ちつつ、シボ模様により肉抜きを行い、厚さを薄くすることとした。

加熱性は、フライパンの厚さや縁の高さ及び傾きが関係すると考えられる。つまり、与えた熱がこもる方向で焼き面温度が上昇し、熱が逃げる方向で焼き面の温度が低下する。そのため加熱性はフライパンの厚さと全体形状に関係し、軽量化とも密接な関係にあると予想される。

シボ模様の設計ではこれら3項目の機能性を総合的に検討した。

2-2 テストピースの意匠設計

図1にデジタルシボを付加する前のテストピースの断面を示す。テストピースの寸法は、外径216mm、高さ13mm、縁幅10mm、肉厚3mmとした。機能性シボの設計

* 令和3年度、令和4年度ものづくりDXシステム導入支援強化事業

** 素形材プロセス技術部

*** 有限会社及春鋳造所

は図 2 のとおり 3 枚のテストピースを製作し、素の鑄肌地を **muji**、幾何学模様を **kika**、ランダム模様を **yuzu** とした。**kika** と **yuzu** は 90 度分割にして 1 枚のテストピースに 4 種類のシボを配置した。**muji** はテストピース全面を鑄肌地として表面粗さは鑄物砂の粒度に依存する。また異なる二つの市販品の鑄鉄フライパンを用意して **shihan_A** と **shihan_B** とし、参照比較することとした。この市販品の表面性状は **muji** と同様に物砂の粒度に依存する平坦な表面であった。以上から実験に用いたシボ模様の水準は計 11 水準となった。

デジタルシボによるシボ模様の作製方法は、ボクセルで 3 次元を表現する CAD ソフトウェア **Geomagic Freeform Plus** (3D Systems 社) を使用し、グレースケール画像を用いてエンボス処理を行い作製した。具体的な手順は図 3 のとおりグレースケール画像を 3D モデルに投影し、画像の階調情報と指定した基準深さから凹凸を生成した。**kika** は図 4 に示す半球状模様を用い、**yuzu** は図 5 に示すゆず肌と呼ばれる模様を用いた。

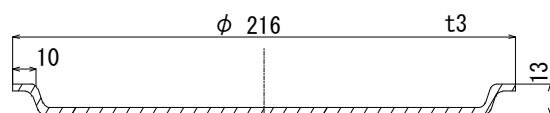


図 1 テストピース断面 (mm)

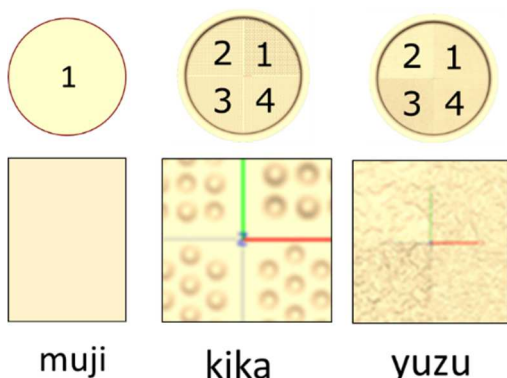


図 2 シボの設計

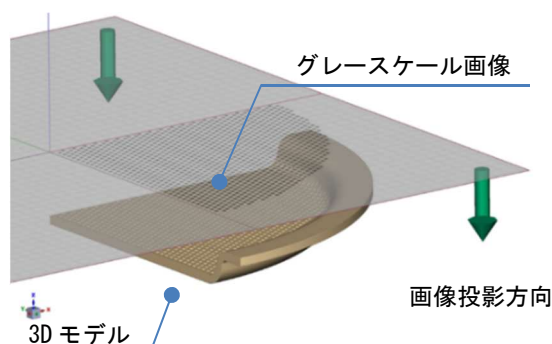


図 3 エンボス処理

テストピースの鑄造は、小型溶解炉 (1.0 トン/h) で 1 チャージとしてコークス、銑鉄、戻り、古銑、石灰石、シリコン (Fe-Si) の順番で装入し片状黒鉛鑄鉄 F150 溶湯を試作した鑄型に流し込み、テストピースを製作した。砂型の造型は試作用造型枠を使用し 300×300 mm の試作用枠 (開閉式) を使用して作製し、使用した鑄物砂の粒度はシボ模様と比較して十分に小さい。

2-3 テストピースの表面性状

設計したシボ模様の詳細を示す。幾何学シボ **kika** 及びランダムシボ **yuzu** はそれぞれ 4 水準の表面性状を与えた。各シボ模様の深さは表 1 のとおりであり、シボ模様形状は **kika1** 及び **kika2** は半球状凹凸、**kika3** は半球状凸、**kika4** は半球状凹とした。**kika** と **yuzu** を詳細に説明すると、**kika1** と **kika2** は同一の半球状凹凸で **kika1** が高さ約 $1000 \mu\text{m}$ と **kika** の中で最も大きく、**kika2** が高さ約 $600 \mu\text{m}$ であり **kika1** の約半分。**kika3** と **kika4** は高さが同じで約 $300 \mu\text{m}$ でありシボ模様形状は **kika3** が半球状凸、**kika4** が半球状凹と対比させた。一方、**yuzu** は同一のゆず肌画像からグレースケール画像のサイズと深さを変えた。**yuzu1** を基準高さ 1 とすると他水準の高さの比率は **yuzu2** で 1.4、**yuzu2** で 1.1、**yuzu4** で 0.6 とした。

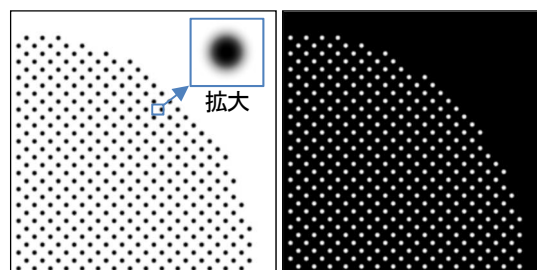


図 4 **kika1** で使用したグレースケール画像
(左：半球凹、右：半球凸)

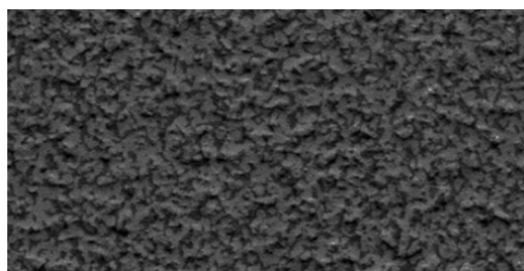


図 5 ゆず肌グレースケール画像

図 6、図 7 に鋳造したテストピースの表面外観写真を示す。撮影にはマイクロスコープ (VHX-7000、(株)キーエンス) を使用し、観察倍率は 20 倍、照明はリング片射で行った。図 8 から図 10 に muji、kika1、yuzu1 の断面曲線を示す。断面曲線の測定は輪郭形状測定機 (DSF600S、(株)小坂研究所) を使用し、スタイラスは超硬材、円錐形状、先端頂角 16°、先端 R25 μm で触圧は 10 mN で行った。測定した断面曲線から Z 方向の最大値と最小値の差を求め最大高さ Pz とした。表 1、図 11 に各テストピースの Pz 測定結果を示す。テストピースの鋳造に使用した砂型の粒度の影響により、表 1 の muji の b-a の数値に示すとおり鋳物表面に 69 μm の凹凸が転写されることを確認した。対して、sihan_A 及び shihan_B の Pz は、それぞれ 110 μm 、129 μm であり、今回テストピースの鋳造に使用した砂型よりも粗い粒度のものが使用されていたと予想される。

表 1 断面曲線の最大高さ Pz

	Die: a	Casted work-piece: b	μm b-a
muji	5	74	69
kika1	977	1020	43
kika2	588	584	-4
kika3	205	279	74
kika4	219	264	45
yuzu1	115	129	14
yuzu2	125	179	54
yuzu3	156	148	-9
yuzu4	83	82	-1
sihan_A	5 *)	115	110
sihan_B	5 *)	134	129

*) mujiの数値を設定

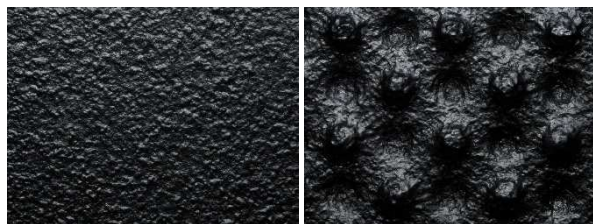


図 6 muji (左) と kika1 (右) (鋳造品)

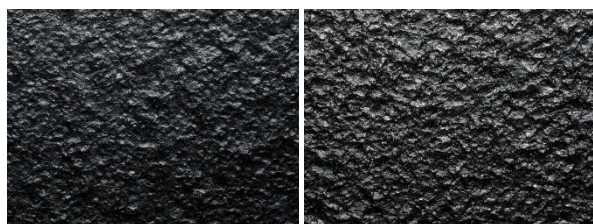


図 7 yuzu1 (左) と sihan_A (右) (鋳造品)

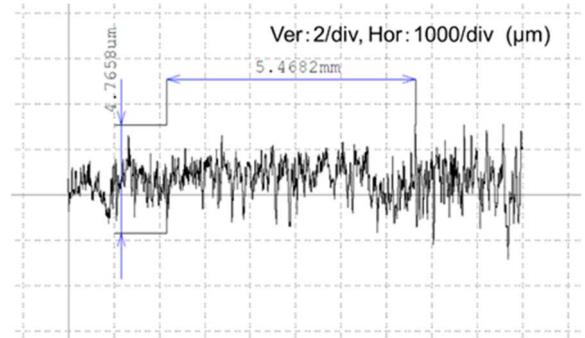


図 8 muji の断面曲線 (鋳造品)

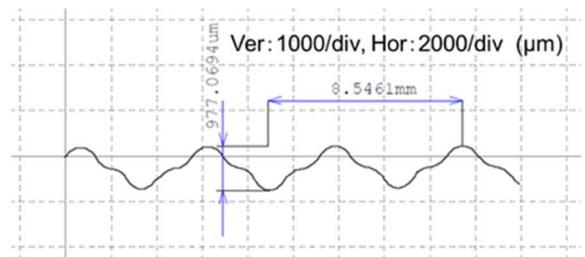


図 9 kika1 の断面曲線 (鋳造品)

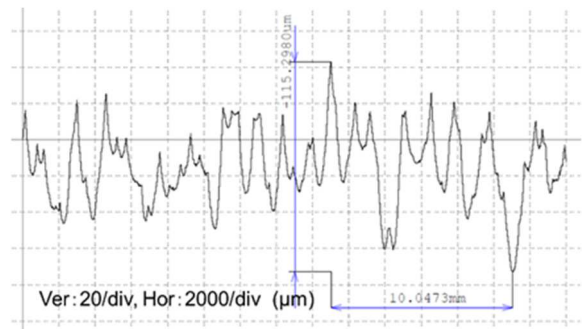


図 10 yuzu1 の断面曲線 (鋳造品)

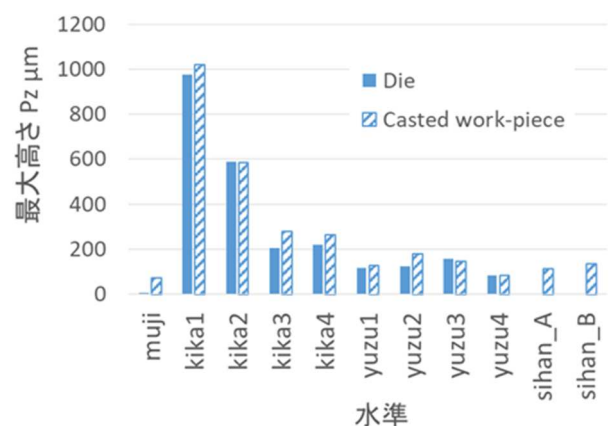


図 11 断面曲線の最大高さ Pz

3 調理試験

3-1 試験方法

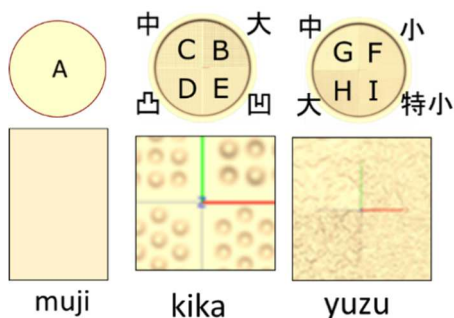
無作為に抽出した 6 名を試験者としてテストピースで調理試験を行い、官能評価を行った。試験者の性別は男性 5 名、女性 1 名、平均年齢は 49 才であった。官能試験は表 2 の配点表のとおり 5 段階評価とし、調理試験での食材は目玉焼きとステーキ、評価項目は剥離性、味、油滞留性、意匠性、加熱性の 5 項目とした。評価対象物は図 12 に示すテストピース 3 種類 muji、kika、yuzu として、muji で 1 カ所、kika で kika1~4 の 4 カ所、yuzu で yuzu1~4 の 4 カ所の計 9 カ所で調理を行い採点した。図 13 は図 12 の位置に配置したシボ模様の詳細を示したものである。調理方法はテストピース 3 種類で同一手順とし、使用する前に油ならしを行い、目玉焼き及びステーキどちらも経過時間毎に、フライパン表面温度を赤外線温度計で点測定した。

表 2 官能試験の配点

項目	配点				
	非常に良い	良い	普通	悪い	非常に悪い
剥離性	5	4	3	2	1
味	5	4	3	2	1
油滞留性	5	4	3	2	1
意匠性	5	4	3	2	1
加熱性	5	4	3	2	1



図 12 テストピースの評価位置



※1: mujiは鋳肌地
※2: 大～特小は凹凸の高さ

図 13 評価位置のシボ模様

3-2 フライパンの表面温度

図 14、15 に各条件でのフライパン表面温度測定結果を示す。図 14 は空焚きした強火での 1 分 30 秒後の温度であり、sihan_A と sihan_B が 250℃を超え、他のテストピース 3 種類よりも高かった。その理由として sihan_A、sihan_B は肉厚が厚く縁高さが高いため、熱の排出が阻害され熱が留まる傾向が強かったためと推測した。一方、中火で 1 分 30 秒後の温度では、sihan_A とテストピース 3 種類でフライパン表面温度は 170℃程度であり大きな差は見られなかった。この理由としては、与える熱量が小さい場合、熱が留まるために必要となる追加エネルギーが十分に与えられず、フライパン肉厚と縁高さの影響が表れ難かったのではないかと考えられ、今後 CAE 解析など追加確認が必要である。図 15 のステーキの調理温度では sihan_A と muji の方が kika と yuzu よりもフライパン表面温度が高い。これは載せた肉の数が 1 対 4 個であり載せた食材に熱が奪われた。しかし kika と yuzu は肉の数は同等であるが温度差が生じた。

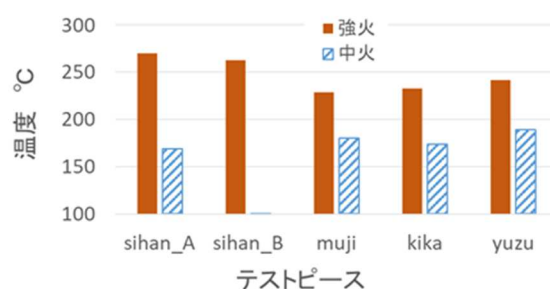


図 14 温度 (1 分 30 秒後)

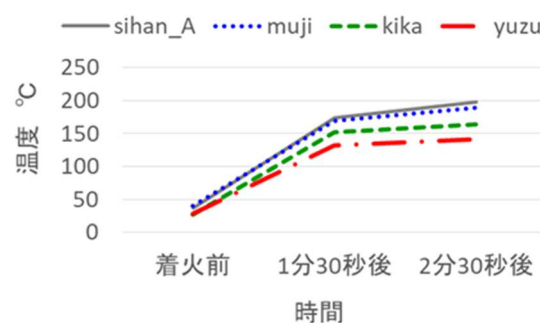


図 15 ステーキの調理温度

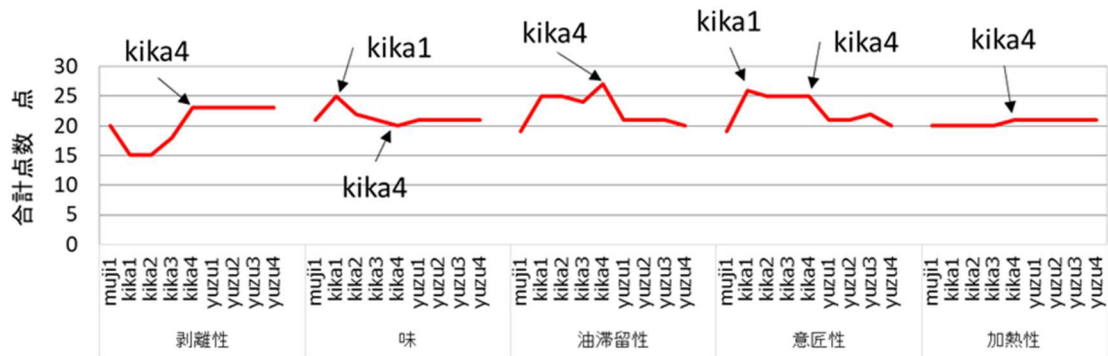


図 16 官能試験の結果

3-3 結果及びシボ模様の決定

図 16 に官能試験の結果を示す。横軸が評価項目で縦軸が 6 名の評価者の合計点数である。特徴値の番号を矢印で示した。項目毎に検証すると、剥離性では kika4 を含む yuzu で点数が高い。剥離性は焼いた後に菜箸で食材をフライパンから剥がす行為と調理後の水洗い作業の 2 行為で採点した。kika1～3 では半球凹凸の隙間に食材が入り込み剥がし難い結果となった。味は kika1 の点数が特出して高く、特にステーキでは肉の油が半球状の溝に落ちてステーキから油が抜けたために味が向上したと考えられる。油滞留性は kika で点数が高く、特に kika4 の半球凹に油が溜まる傾向が見られた。yuzu では油の流動性が高く、所定箇所に滞留する傾向は見られなかった。意匠性は kika が yuzu よりも見た目での斬新さがみられ、特に半球凹凸高さが大きい kika1 で優れていた。加熱性については、官能試験での差は殆どみられず同等の結果となった。

以上の結果から、ステーキのみを対象にした場合は kika1 が味の面で優れた結果であったが、鋳鉄フライパンは、通常の厨房調理で使用することを対象にしているため、あらゆる食材に適合した万能性が求められる。また、当初計画したシボ模様に付与する機能性は、離型性、軽量性、加熱性の 3 項目であり、各種検査や官能試験の結果から、総合的にこれらの機能性を満足するシボ模様として kika4 の半球凹を選定した。

3-4 有意差検定

官能試験での結果を統計により有意差検定³⁾をした。検定方法は kika1 と kika4 で平均の差の検定(対応のある場合)とし、以下の手順に従った。

(1) 仮説の設定

$H_0: \mu_d = 0$ (差が無い)、 μ_d : 平均の差

(2) 差 $d = x - y$ の平均値 d_{avg} と平均平方 V_d を求める。

(3) d の標準偏差 $(V_d/n)^{0.5}$ を求める。

(4) 次の式で t_0 を求める。

$$t_0 = d_{avg} / (V_d/n)^{0.5}$$

(5) 判定

$|t_0| \geq t(n-1, 0.05)$ ならば仮説 H_0 を棄却する (危険率 5%)

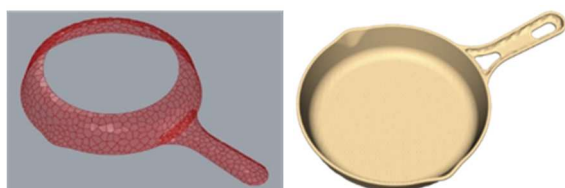
この手順に従って t_0 を求めた結果、 $t_0 = -0.8950$ となり $t(29, 0.05) = 2.045$ であるから $|t_0| < t(29, 0.05)$ となった。したがって仮説 H_0 が成立した (危険率 5%)。つまり双方の値にかたよりの無い。ゆえに有意差は無い。検定では両者に有意差は見られなかったが、鋳鉄フライパンの味及び調理等を含めた機能性評価では現在のところ官能試験のみが差別化できる手法であり、工学的な評価方法に課題が残った。

4 鋳鉄フライパンの製品試作

図 17 にボロノイ分割意匠とフライパン全景の CAD モデルを示す。フライパン意匠の 3D モデル作製は、基本設計と複雑なパラメトリックデザイン面の作製及びデジタルシボ付加の 3 工程に分かれており、それぞれのモデリングに適した 3 次元 CAD ソフトウェアを使用した。基本形状の設計・作製は、SOLIDWORKS (ダッソー・システムズ(株))、フライパン裏面、取手表面のボロノイ分割を応用したパラメトリックデザイン面の作製には Rhinoceros (Robert McNeel & Associates 社) を使用した。これらの 3D データを用いて、最終的な 3D モデリングを Geomagic Freeform Plus で行った。フライパン調理面のシボは、実験の結果より選定した半球状凹型の幾何学シボを付加した。この幾何学シボ付加箇所と裏底面を除いたフライパン表面全体にゆず肌、取手裏面に凸形状の鋳出し文字を付加した。

図 18 に金型を示す。金型加工では平たい薄肉厚状の金型ブロックの全域を加工する必要があり、それに対応する固定方法が要点となった。工作機械への固定方法は面板を介して金型ブロックの不用部を正確に計測し、面板固定用ねじ位置を決定した。図 19 に鋳造後の完成した鋳鉄フライパン、図 20 に完成後の半球状凹型シボを示す。半球状凹型シボの製作条件はテストピース製作時に確認済みであり、設計値どおり $\phi 2 \text{ mm}$ 程度に仕上げ

ることが出来た。また取手と裏面に与えたボロノイ分割意匠については、ボロノイ領域の辺長を 10mm 程度としたことで適度な広さになっており、当初の狙い通りの意匠に仕上がった。



(左：ボロノイ分割意匠、右：ボクセル形式)

図 17 試作品の CAD モデル



(左：上型金型、右：ボロノイ分割部)

図 18 試作品の金型



(左：全景、右：ボロノイ分割部)

図 19 完成した試作品



図 20 焼き面に付与した幾何学シボ半球状凹型
(铸造品)

5 結 言

南部鉄器製のフライパンにデジタルシボを適用して、フライパンの機能として要求される離型性、軽量性、加熱性についての機能性向上を図った。そのシボ模様は、幾何学シボでは半球、ランダムシボではゆず肌、及び無地の計 9 種類として官能試験で優位性を判定した。

- (1) 評価項目を剥離性、味、油滞留性、意匠性、加熱性の 5 項目として、テストピースによる調理試験を官能試験により採点した結果、kika4 の幾何学シボ半球状凹型で最高点数となった。
- (2) 調理実験結果を反映させた製品フライパンの最終意匠は、焼き面が幾何学シボ半球凹、裏面及び取手にはボロノイ分割を応用したパラメトリックデザインとした。

文 献

- 1) 和合健, 生内智, 及川春樹: デジタルシボ技術を活用した南部鉄器の作製, 岩手県工業技術センター研究報告, 23, p. 30-34 (2021)
- 2) 和合健, 生内智, 及川春樹: デジタルシボによる南部鉄器製急須の製造方法の提案, 2022 年度精密工学会東北支部講演論文集 (2022)
- 3) 森口繁一: 新編統計的方法, 日本規格協会 (1992)